



ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ЦИФРОВОЙ ФОТОУПРУГОСТИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПОЛНОГО АСИМПТОТИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ М.УИЛЬЯМСА

(Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П.Королева)

В настоящее время в механике разрушения определение напряженно-деформированного состояния (НДС) вблизи острых вырезов и трещин было и остается актуальной задачей [1-5]. Сегодня наиболее популярны интерференционно-оптические методы механики деформируемого твердого тела, среди которых метод цифровой фотоупругости является классическим методом исследования НДС оптически чувствительных материалов [6, 7].

Асимптотическое разложение М.Уильямса поля напряжений представляет собой удобный инструмент для описания НДС в окрестности вершины трещины в изотропном линейно упругом материале:

$$\sigma_{ij}(r, \theta) = \sum_{m=1}^2 \sum_{k=1}^{\infty} a_k^m r^{\frac{k}{2}-1} f_{m,ij}^{(k)}(\theta), \quad (1)$$

где σ_{ij} – компоненты тензора напряжений, m соответствует типу нагружения; значение $m=1$ отвечает нормальному отрыву, $m=2$ – поперечному сдвигу, a_k^m – амплитудные (масштабные) множители, коэффициенты, зависящие от геометрии образца с трещиной и от приложенной нагрузки, r и θ – полярные координаты, $f_{m,ij}^{(k)}(\theta)$ – угловые распределения нагружения, которые известны и определяются с помощью формул [8]:

$$\begin{aligned} f_{1,11}^{(k)}(\theta) &= \frac{k}{2} \left[\left(2 + \frac{k}{2} + (-1)^k \right) \cos \left(\frac{k}{2} - 1 \right) \theta - \left(\frac{k}{2} - 1 \right) \cos \left(\frac{k}{2} - 3 \right) \theta \right], \\ f_{1,22}^{(k)}(\theta) &= \frac{k}{2} \left[\left(2 + \frac{k}{2} - (-1)^k \right) \cos \left(\frac{k}{2} - 1 \right) \theta + \left(\frac{k}{2} - 1 \right) \cos \left(\frac{k}{2} - 3 \right) \theta \right], \\ f_{1,12}^{(k)}(\theta) &= \frac{k}{2} \left[\left(\frac{k}{2} - 1 \right) \sin \left(\frac{k}{2} - 3 \right) \theta - \left(\frac{k}{2} + (-1)^k \right) \sin \left(\frac{k}{2} - 1 \right) \theta \right], \\ f_{2,11}^{(k)}(\theta) &= -\frac{k}{2} \left[\left(2 + \frac{k}{2} - (-1)^k \right) \sin \left(\frac{k}{2} - 1 \right) \theta - \left(\frac{k}{2} - 1 \right) \sin \left(\frac{k}{2} - 3 \right) \theta \right], \\ f_{2,22}^{(k)}(\theta) &= -\frac{k}{2} \left[\left(2 - \frac{k}{2} + (-1)^k \right) \sin \left(\frac{k}{2} - 1 \right) \theta + \left(\frac{k}{2} - 1 \right) \sin \left(\frac{k}{2} - 3 \right) \theta \right], \\ f_{2,12}^{(k)}(\theta) &= \frac{k}{2} \left[\left(\frac{k}{2} - 1 \right) \cos \left(\frac{k}{2} - 3 \right) \theta - \left(\frac{k}{2} - (-1)^k \right) \cos \left(\frac{k}{2} - 1 \right) \theta \right]. \end{aligned}$$

Коэффициенты интенсивности напряжений (КИН) используются для описания полей напряжений, возникающих у вершины трещины, и вычисляются следующим образом:



$$K_I = \sqrt{2\pi a_1^1} f_{1,22}^{(1)}(\theta = 0), K_{II} = \sqrt{2\pi a_2^1} f_{2,12}^{(1)}(\theta = 0), T = a_1^2 f_{1,11}^{(2)}(\theta = 0),$$

где последнее выражение носит название T -напряжений.

Целью настоящей работы является экспериментальное определение коэффициентов асимптотического разложения М.Уильямса a_k^m (1). Была рассмотрена пластина из поликарбоната с двумя симметричными боковыми надрезами (Рис.1). Геометрические размеры пластины: длина равна 12 см, ширина равна 5 см, толщина равна 0.48 см, длина надрезов имеет длину по 0.85 см. Пластина находилась под растягивающей нагрузкой. На Рис.1 показана картина изохроматических полос пластины, нагруженная силой 70 кг (а), 75 кг (б), 100 кг (в), 125 кг (г) и 150 кг (д).

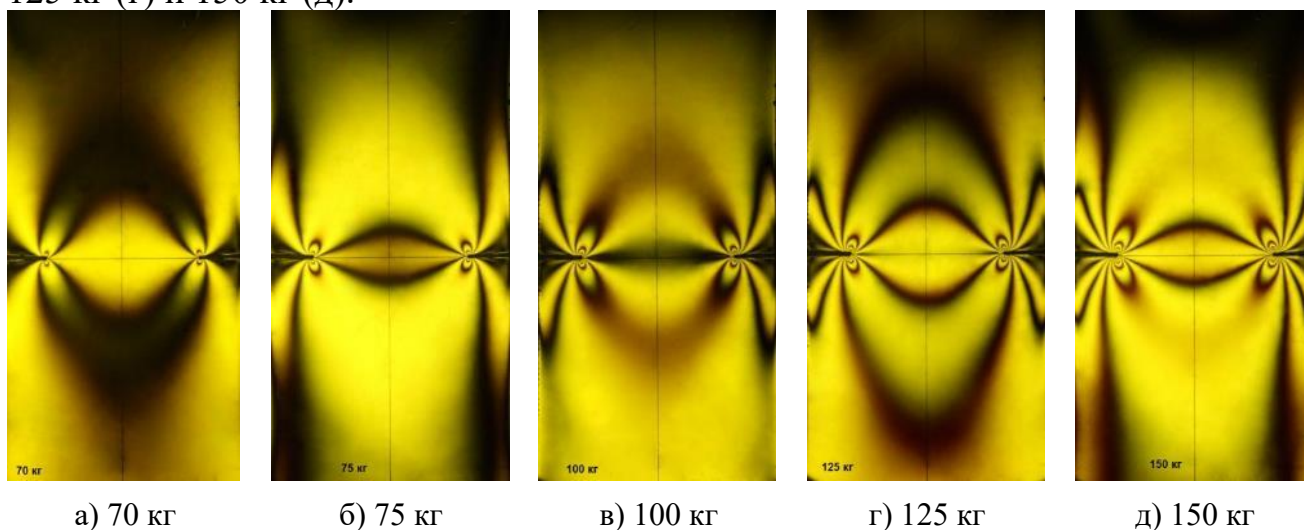
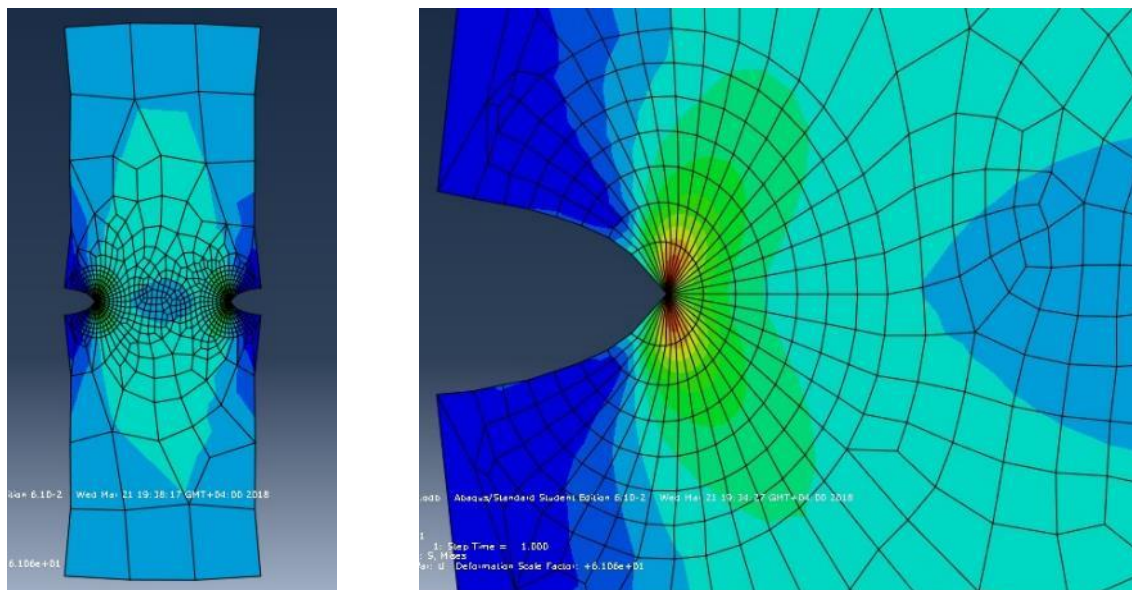


Рис.1. Картина изохроматических полос для нагруженной пластины с двумя боковыми надрезами

Вычисление коэффициентов асимптотического разложения М.Уильямса проводилось несколькими способами:

1. Метод фотоупругости. Следует отметить тот факт, что при удалении от вершины надреза значение КИН сильно увеличивается и существенно отличается от справочных данных [9]. Поэтому для вычисления КИН были использованы изохромы и точки, находящиеся в непосредственной окрестности вершины трещины. На картине изохроматических полос были выделены точки, принадлежащие разным изохромам. На каждой изохроме выбиралось от 45 до 55 точек. Для обработки экспериментальной информации разработана программа, реализованная в пакете символьной математики *Maplesoft Maple*. В программе с помощью основного закона фотоупругости были вычислены параметры механики разрушения a_k^m , в частности K_I , K_{II} , T -напряжения.
2. Использование метода конечного элемента. Для вычисления КИН и T -напряжений использовался программный комплекс *Simulia Abaqus (Student Edition)*.



а) Пластина с двумя боковыми симметричными надрезами

б) Выделенная область у левого надреза пластины

Рис.2. Компьютерное моделирование пластины с боковыми симметричными надрезами в программном комплексе *Simulia Abaqus (Student Edition)*

Для проверки вычислений полученные значения a_1^1, a_2^1, a_1^2 сравнивались со справочными данными [9] и конечно-элементным решением. В таблице приведены полученные значения КИН с помощью методов фотоупругости и конечного элемента, и сравнение их с существующими справочными данными [9].

Таблица 1. Сравнение значений КИН, полученных методом фотоупругости, справочника по КИН и метода конечного элемента

Метод фотоупругости	Метод КЭ	Справочник [9]
114.16 кг/см ^{3/2}	116 кг/см ^{3/2}	116.1 кг/см ^{3/2}

Из Таблицы 1 видно, что экспериментально полученные значения коэффициентов интенсивности хорошо согласуются с конечно-элементным решением и справочными данными [9].

Литература

1. Степанова, Л.В., Адылина, Е.М. Напряженно-деформируемое состояние в окрестности вершины трещины в условиях смешанного нагружения [Текст]/ Л.В. Степанова, Е.М. Адылина // Прикладная механика и техническая физика. - 2014. - Т.55 - № 5. - С. 181-194.
2. Степанова, Л.В., Росляков, П.С. Полное асимптотическое разложение М.Уильямса у вершин двух симметричных трещин конечной длины в бесконечной пластине [Текст]/ Л.В. Степанова, П.С. Росляков // Вестник ПНИПУ. Механика. - 2015. - № 4. - С. 188-225.
3. Stepanova, L.V., Roslyakov, P.S. Multi-parameter description of the crack-tip stress field: analytic determination of coefficients of crack-tip stress expansions in the vicinity of the crack tips of two finite cracks in an infinite plane medium [Текст]/



L.V. Stepanova, P.S. Roslyakov// International Journal of Solids and Structures. – 2016. – V. 100-101. – P. 11-28.

4. Степанова, Л.В., Яковлева, Е.М. Смешанное деформирование пластины с трещиной в условиях плоского напряженного состояния [Текст]/ Л.В. Степанова, Е.М. Яковлева// Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. – 2014. – Т.3. – С. 129-162.

5. Степанова, Л.В. Влияние высших приближений в асимптотическом разложении М.Уильямса на описание поля напряжений в окрестности вершины трещины в изотропном линейно упругом материале [Текст]/ Л.В.Степанова // Материалы X Всероссийской конференции по механике деформируемого твердого тела. – Самара: Самарский государственный технический университет. – 2017. - Т.2. – С.222-225.

6. Котенко, М.В., Раздорский, В.В., Лелявин, А.Б. Поляризациино-оптический метод в исследовании напряженно-деформированного состояния моделей с дентальными имплантатами из нитинола [Текст]/ М.В. Котенко, В.В. Раздорский, А.Б. Лелявин // Сибирский медицинский журнал. – Иркутск. – 2016. – №8. – С.34-38.

7. Маковецкая-Абрамова, О.В., Хлопова, А.В., Маковецкий, В.А. Исследование напряженных состояний и износа в кривошипе подшипника двигателя М-62 методом фотоупругости [Текст]/ О.В. Маковецкая-Абрамова, А.В. Хлопова, В.А. Маковецкий // Техничко-технологические проблемы сервиса. – СПбГ-ЭУ. – 2013. – № 1(23). – С.19-22.

8. Hello, G., Tahar, M.B., Roelandt, J.-M. Analytical determination of coefficients in crack-tip stress expansions for a finite crack in an infinite plane medium [Текст]/ G. Hello, M.B. Tahar, J.-M. Roelandt // International Journal of Solids and Structures. – 2012. - №49. С.556-566.

9. Tada, H. The Stress Analysis of Cracks Handbook Third Edition: учеб.-метод. пособие / H. Tada, C. P. Paris, G. R. Irwin. - New York: ASME Press, 2000 - 696 с.

А.А. Лякишев, И.В. Лёзина

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА АППРОКСИМАЦИИ ПЛОТНОСТИ ВЕРОЯТНОСТИ РАДИАЛЬНО-БАЗИСНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТЬЮ С ПРИМЕНЕНИЕМ АЛГОРИТМОВ ИНИЦИАЛИЗАЦИИ ВЕСОВ

(Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева)

В современном мире мы часто сталкиваемся с большими объемами данных, полученных тем или иным образом. Визуальная или ручная обработка больших числовых массивов невозможна, когда количество полученных значений превышает несколько тысяч чисел. Поэтому для решения подобных задач пишут специальные программы, чтобы проанализировать и определить закон